

平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波における  
家屋破損程度からみた海岸林の評価  
—宮城県石巻市長浜の事例—

岡田穰<sup>1\*</sup>・野口宏典<sup>2</sup>・岡野通明<sup>2</sup>・坂本知己<sup>2</sup>

The Evaluations of Coastal Forest by Grade of the House Damage Caused by  
the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami

- A case study of Nagahama, Ishinomaki, Miyagi Prefecture -

Minoru Okada<sup>1\*</sup>, Hironori Noguchi<sup>2</sup>, Michiaki Okano<sup>2</sup> and Tomoki Sakamoto<sup>2</sup>

**Abstract:** The purpose of this study is to examine how much the existence of the coastal forest influenced the grade of the house damage caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake tsunami. The research methods consisted of a geographic survey and damage grade investigations of the building by a foundation survey and aerial photos. A comparison of the area which had the coastal forest in the coast and the area which didn't have it revealed that the level in both areas were flat and the height from sea level and the height of the tsunami were the same; however the damage caused to buildings differed. Thus, the mitigating effects of the coastal forest against the tsunami were examined. The ratio of complete collapse in the area as the coastal forest where the distance from the coast was same was high. Therefore, it has been interpreted as existence of the coastal forest having prevented the damage of the building, and generating of rubble. And it is an important consideration matter in the plan of the development and maintenance of the coastal forest and the overall community including the coastal forest that the damage of the building at the side end of the coastal forest was serious.

## 1 はじめに

2011年3月11日、宮城県東方沖(北緯 $38^{\circ} 6' 12''$ ，東経 $142^{\circ} 51' 36''$ )を震源としたM9.0の巨大地震(平成23年東北地方太平洋沖地震)が発生した。この地震に伴い、東北地方の太平洋側を中心として大規模な津波(平成23年東北地方太平洋沖地震津波)が発生し、未曾有の大惨事を引き起こした。

海岸林は森林としての多面的機能を有し、その多面的機能の重要な機能の一つとして津波の減災機能が挙げられる。海岸林は津波の流れに対する障害物として機能し、漂流物の移動の阻止による衝突災害を防止したり、水の勢いを弱めたりする[10]。これら機能の検証についての研究は、シミュレーション実験や数値計算等による試算を用いた手法[3]と、実際の津波による災害事例からみた手法とに大別され、双方の手法が互いに検証されることにより、より確かな論拠となる。後者の事例として、2004年に発生したインド洋大津波では、ココヤシ林が港の船舶が住宅に侵入するのを防いだり[13]、モクマオウ林やマングローブ林が、津波の勢いを弱めて住宅被害を

軽減したりした事例が報告されている[4][11]。今回の津波においても、実際の津波被害からみた海岸林が果たした機能の検証・評価をすることは、数少ない、かつ甚大な災害事例の現地データによる検証という点から非常に重要である。

よって本調査では、地形条件と海岸林周辺の家屋被害状況から、海岸林の存在が津波による家屋被害にどのように影響したかを明らかにすることとした。

## 2 調査地概要

### 2.1 調査対象地の設定と被災状況

調査対象地は宮城県石巻市長浜地区(図1)の海岸林周辺の区域(700m×1,000m)とした(図2)。石巻市は宮城県内では仙台市に次ぐ県内第2の人口の都市で、震災前(2011年2月末)の人口は162,822人、世帯数は60,928世帯であった。市内には重要港

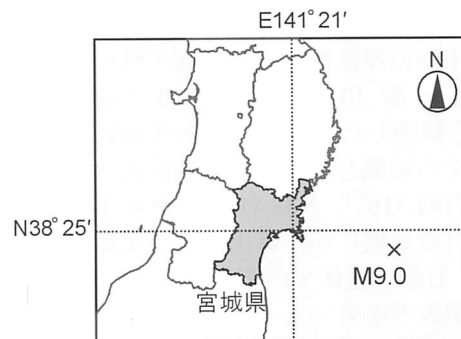


図1：調査地の位置(宮城県石巻市)

<sup>1</sup> 専修大学北海道短期大学商経社会総合学科,  
Department of Business and Economics, Hokkaido Collage,  
Senshu University, 1610-1 Bibai, Bibai, Hokkaido, 079-0197  
Japan

<sup>2</sup> 独立行政法人森林総合研究所, Forestry and Forest  
Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki  
305-8687 Japan

\*Corresponding author: okada@senshu-hc.ac.jp

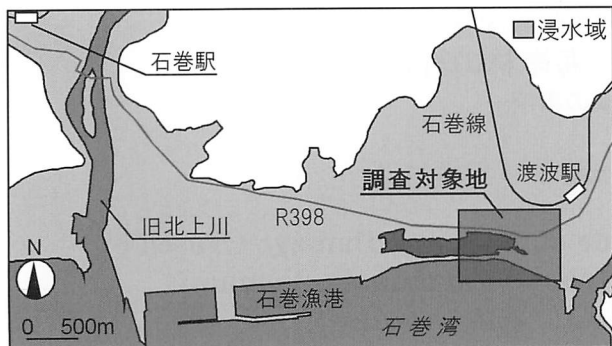


図2：調査対象地の位置と津波による浸水域



朝日航洋株式会社提供写真[2]に加筆  
写真1：対象地全景（2011年3月12日）

湾である石巻港や特定第三種漁港である石巻漁港があり、海岸沿いの都市として産業が成立した地域である。

調査対象とした海岸線は旧北上川河口と万石浦にはさまれた石巻湾の東側に位置し、ほぼ東西方向に延びている砂浜海岸で、砂浜地の西端部には長浜海浜公園、海岸林の前部は石巻市営渡波海水浴場がある（海水浴場は今回の震災によって砂浜が大幅に浸食された等の影響で、2011年度は開設されていない）。砂浜の背後には延長距離が約 2km の防潮堤（T.P.+6.2m）が設置され、その背後に海岸林が造成されている。海岸林の内陸側には石巻市立渡波中学校、石巻市立女子商業高等学校が隣接し、その周辺は住宅地である。また、海岸林の東側は防潮堤のすぐ背後から住宅地が造成されている。

3月11日の14:46に発生した地震では石巻特別地域気象観測所（石巻市泉町）で震度5強を観測し[8]、その後市内の津波観測点（石巻市鮎川）で14:46に津波の第1波（0.1m）を、15:20に最大波高（8.6m以上）を観測した[6][7]。調査対象地周辺における津波に関する記録としては、区域西側において最大で6.5m（E141.316°，N38.412°：魚町1-30、建物の壁の痕跡（浸水痕）から算出した浸水高）の記録がある[15]。石巻市全体での被災状況は、死者3,280名、行方不明者595名であった（2012.1.24現在[4]）。

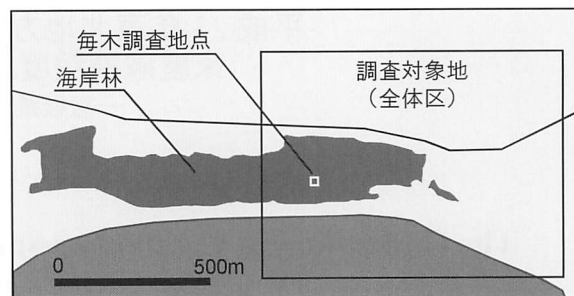


図3：海岸林と毎木調査地の位置

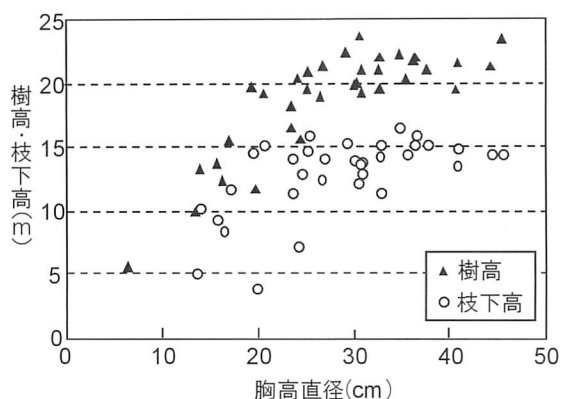


図4：毎木調査地内の樹木の樹高と枝下高，胸高直径



写真2：海岸林縁部（海側）に堆積した瓦礫（2011.8.23撮影）

**2.2 調査対象地内の海岸林の概要と津波による被害**  
海岸林は東西方向が約 1.3km、林帯幅は 100～200m で、クロマツとアカマツを主体とした混交林である。林内（林中央部の海寄り、防潮堤から約 80m、図 3）に 20×20m の方形区を設置し、毎木調査を実施した結果、立木密度は 900 本/ha、樹高は 12～24m（平均：17.3m）、枝下高は 10～18m（平均：12.9m）の個体が主体であった（図 4）。

津波による海岸林の被害をみると、前縁部には損壊した防潮堤や防潮堤背後の道路資材が津波によって入り込んだ。それらコンクリートなどの塊は、比較的小径の林縁木を押し倒したが、比較的大径木は樹皮に傷はついたものの倒れたり折れたりすることはなかった。また、林縁の樹木間隔が空いている部分では、自動車などの漂流物が林内に入り込んでい

た。

### 3 調査方法

当地においては有馬ら (2012) が側線設定による建物の被害状況のレベルの確認と浸水痕の測定による浸水深の推定から海岸林の津波防止に関する検討をしている[1]。本調査では詳細な地形状況と面的な建物被害状況を把握して海岸林を評価することを目的とし、現地での測量調査と、空中写真の判読による調査(以下、空中写真調査とする)、家屋被害調査(以下、現地被害調査とする)を実施した。

測量調査は、調査区を主とした調査地域内の地盤高を把握することを目的として3本の測量ライン(ラインA: 有林区の住宅地内で海岸林の背後から道路に沿って内陸方向, ラインB: 無林区の住宅地内で防潮堤脇の道路から道路に沿って内陸方向, ラインC: 国道398号線の一部に沿って海岸線とほぼ平行)を設定し、地盤測量を実施して地上高を計測した。なお、地盤高の基準として、森林保全・管理技術研究会より提供された測量データ(点線ライン部分)を使用し、地盤高を算出した(図5)。

空中写真調査では、調査対象地の範囲(1,000m×700m, 以下、全体区とする)を対象とし、震災前と震災直後の空中写真より家屋等の流失、瓦礫の溜まり状況を判読した。震災直後については、国土院が公開している電子国土Webシステム版の被災地域の空中写真(正射画像データ)のうち、2011年3月12~13日撮影の写真を、震災前としては、Google Earthで公開されている2010年6月25日撮影の写真を使用した。また、防潮堤から100, 200, 300, 400mのバッファゾーンを設定・区分したほか、200×400mの調査区を海岸林およびその背後部分(以下、有林区とする)と、海岸林東側の住宅地(以下、無林区とする)に設置し、ゾーン毎および両区で被害状況を比較した(図5)。

現地被害調査は2011年8月24・25日に実施し、測量調査を実施した各ラインの道路脇の建物(ラインA, Bは道路両脇, ラインCは道路の海側脇)を対象として踏査し、建物の被害状況を「被害なし」、「窓(1F)破損」、「壁(1F)破損」、「屋根(1F)破

損」、「窓(2F)破損」、「壁(2F)破損」、「全壊」、「不明(空中写真では確認されたが、その後取り壊し等で消失していた)」の8つに区分して記録した。あわせて壁や窓に津波の痕跡と思われる浸水痕(泥等が横ライン状に残存して形成された線や、泥が付着している部分としていない部分の境界)が確認された場合、その最上部位置の地上高を測定した。

### 4 結果

#### 4.1 津波の浸水高

測量調査の結果海岸林より内陸側の部分で有林区

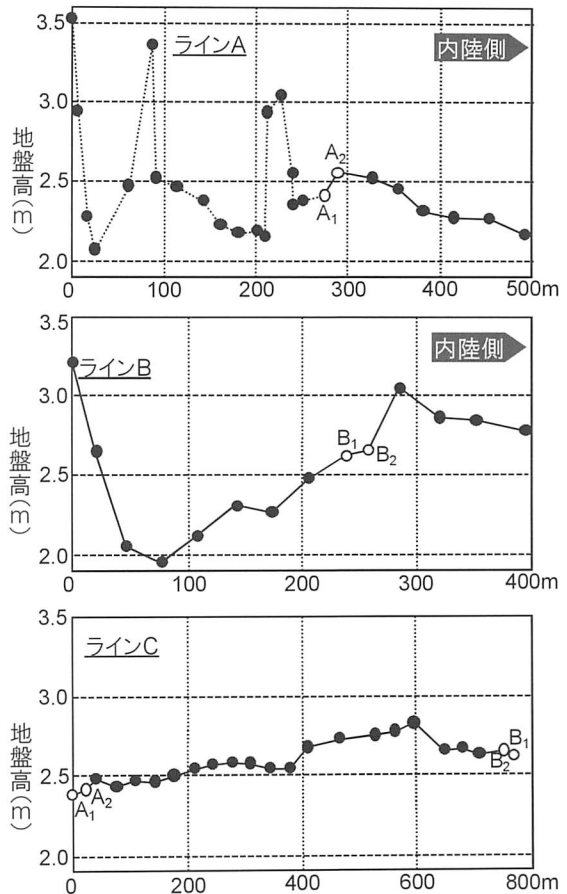


図6: 各ラインにおける地盤高



図5: 調査対象地の概要

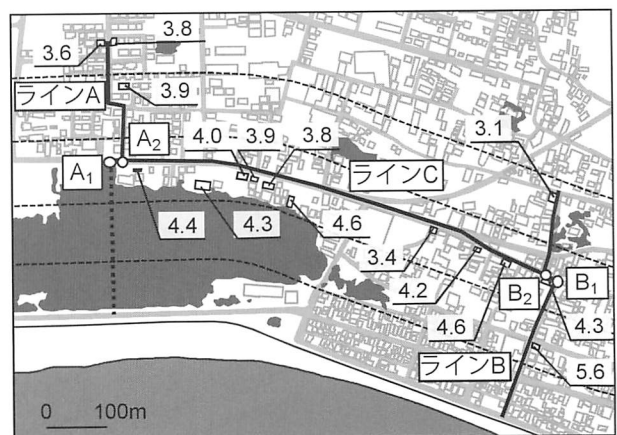


図7: 各調査ラインの測量重複地点の位置と周辺における津波浸水深 (m)

(ライン A) と無林区 (ライン B) の地盤高を比較すると、有林区 (ライン A の A<sub>2</sub> より内陸側) では 2.1~2.6m、無林区 (ライン B の B<sub>2</sub> より内陸側) では 2.7~3.0m と、有林区の地盤高が低かった。また防潮堤から約 250m 離れた場所で防潮堤とほぼ平行方向 (東西方向) であるライン C での地盤高は 2.4~2.8m で、有林区内の地点 (A<sub>2</sub>: 2.4m) と無林区内の地点 (B<sub>2</sub>: 2.7m) では、0.3m の差がみられ、有林区の方が低かった。(図 6, 図 7)

次に各ライン周辺で確認された浸水痕をみると、ライン A では浸水深が 3.6~3.9m で、ライン B では、B2 より海側では 4.3~5.6m、内陸側では 3.1m の浸水痕が確認され、海側から内陸側にかけてその値は減少した。ライン C では 3.4~4.6m の浸水痕が確認され、全般に一様の分布傾向であった (図 7)。この浸水痕について、地盤高測定の測量点と近かった 6 箇所地点の浸水高 (地盤高+浸水痕高) をみると、無林区で防潮堤から 100m 付近の地点では 7.9m、ライン C 沿いの防潮堤から約 250m の地点では一様に 6.4~6.9m、防潮堤から 400m 付近の地点では、有林区では 6.0m、無林区では 5.9m であった (図 8)。

#### 4.2 家屋の流失

流失した家屋の位置をみると、無林区側の海岸線に近い地区での数が多かった。また、海岸線の東側背

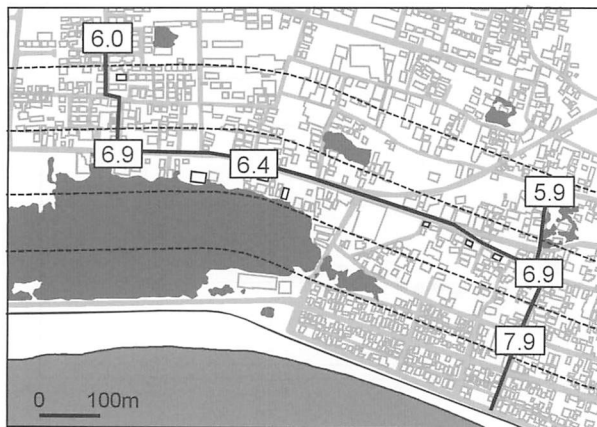


図8：浸水痕跡と地盤高より算出した津波浸水高(m)

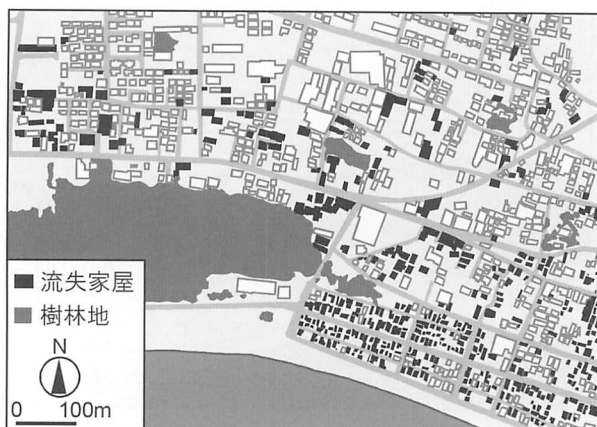


図9：流失した家屋の位置

後 (脇部) でも多いことが確認された (図 9)。

次に流失した家屋の数の比率をゾーン毎にみると、全体区では防潮堤から最も近い 0~100m において 80%以上の家屋が全壊しており、内陸方向になるに連れてその比率は減少した。無林区と有林区とで比較すると、無林区では防潮堤からの距離が 200m までは全壊の比率が約 75%と同様の傾向で、その後内陸方向になるに連れて減少した。有林区は、防潮堤からの距離が 200~300m の範囲では約 25%と、無林区の約半分であった (図 10)。

そして流れた家屋や瓦礫溜まりの位置をみると、流れた家屋、瓦礫共に無林区の方が多く確認された (図 11)。

#### 4.3 家屋の被害程度

家屋被害調査の結果、ライン A において被害の無い家屋が 1 軒確認されたほかは全ての家屋で被害が確認された。ライン C では、海岸線のすぐ背後の家屋では窓破損 (1F)、壁破損 (1F) が多かったのに対し、無林区側ではその多くが全壊し、壁破損 (2F) も多かった。また、海岸線の端部の背後に位置した家屋はその多くが全壊していた。そしてライン B の前部分 (0~250m) をみると、全壊した家屋が多かったほか、空中写真調査では残存が確認された家屋でも、震災後に取り壊されて消失した事例も確認された (図 12)。

次に有林区内と無林区内の被害程度をライン C よ

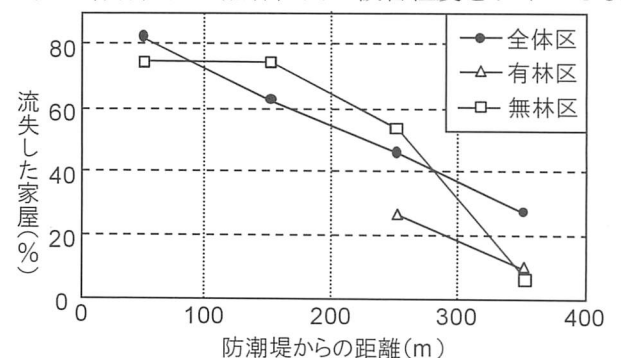


図10：流失した家屋の比率

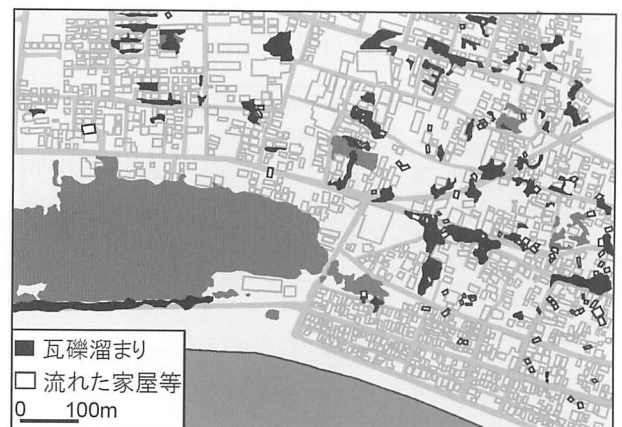


図11：瓦礫の溜まりや流れた家屋等の位置

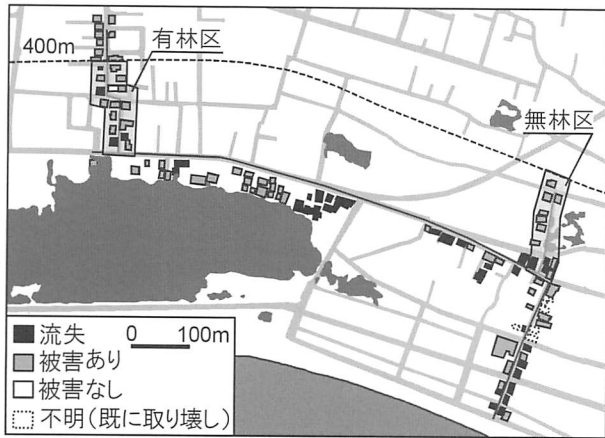


図12：家屋の被害状況

表1：被害認定調査における被害程度基準

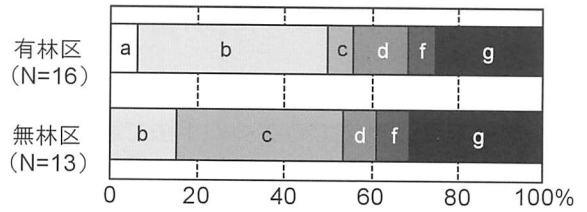
外観による目視調査	被害程度
住家流失	全壊
概ね1階天井まで浸水	全壊
床上浸水概ね1m	大規模半壊
床上浸水	半壊
床下浸水	一部損壊

内閣府：平成23年度東北地方太平洋沖地震に係る住家被害の調査方法[9]より抜粋，作成

り内陸側の部分で比較すると，両ライン共に窓破損(1F)から全壊まで確認された。その割合をみると，内閣府が定めた「平成23年東北地方太平洋沖地震に係る住家被害認定の調査方法[9]」の津波による住家被害の第1次調査において「全壊」と認定される基準(表1)に該当すると外見から判断できた家屋(「流失」，「壁(2F)破損」，「窓(2F)破損」，「屋根(1F)破損」が該当)は，ほぼ同程度であった。それ以外では，有林区では窓破損(1F)が多かったが，無林区では壁破損(1F)が多かったことが確認された(図13)。因みにその後の追跡調査(10月31日実施)では，全体において取り壊された家屋が増加していたほか，Aラインにおいて窓破損(1F)で建築時期が比較的新しいと思われる家屋が取り壊されていた事例も確認された。

### 5 今回の津波被害からみた海岸林の評価

今回の津波による被害程度を海岸林があった箇所(有林区)と海岸林がなかった箇所(無林区)とで比較した場合，両区とも同様の地盤高，平坦地形，津波の高さであったが，家屋の被害程度には，差があった。すなわち，有林区では比較的軽微な被害である窓破損(1F)が多かったのに対し，無林区ではそれよりも破損状況が高い壁破損(1F)が多く，有林区の方が家屋の被害程度は軽微であった。従って，海岸林の背後では津波の勢いはある程度弱まっていたと推定され，海岸林の波力減殺効果があったと考え



※ eは被害程度の分類上設定したが，該当家屋は確認されなかった



図13：有林区と無林区における被害程度の違い



写真3：被害家屋(壁(2F)破損)の例(2011.9.30撮影)

られる。

また，海岸林が無く防潮堤の背後まで住宅地であった区域(無林区)での全壊の比率が，特に防波堤からの距離が0~200mの範囲で高いことが明らかになった。これに対して，有林区では，その範囲に海岸林があったために，被災対象となる家屋が存在していなかった。このことは，見方を変えると，海岸林が土地利用を制限することで津波被害を未然に防いだことになる。

加えて，無林区の0~200mの範囲から流失した家屋は，単に流失しただけではなく，瓦礫となって漂流し内陸側の被害を拡大したと考えられた。すなわち，海岸林は土地利用を制限したことで，瓦礫の発生も未然に防いだことになる。

そして海岸林の側端部で被害が大きかったことが確認され，これは谷本ら(2009)による実験と数値計算[14]の実地調査による裏付けになり，今後の海岸林およびその周辺の造成・整備計画における重要な配慮事項となると考える。

以上のように，対象地の海岸林は波力減殺効果を発揮しただけではなく，津波による被害が大きくなると予測される海岸林近くの土地利用を制限することで，海岸林がなければ存在したと考えられる家屋の津波被害，ならびに，その内陸側の住宅地に対す

る漂流物の流入を未然に防いだと評価できる。

## 6 おわりに

今回は空中写真と現地での2つの手法で家屋の被害程度を調査したが、震災から半年近く経過した時点での現地調査では、震災直後の空中写真では「残存」と判断された家屋が、実際には修復が不可能と判断されたためか、より安全な場所に転居するためか、取り壊されたものが確認された。調査時にも方々で家屋の取り壊し作業が進行中であり、取り壊された家屋は10月末の追跡調査ではさらに増え、被害程度が小さかった家屋の取り壊しも確認された(写真4)ことから、被害程度と実際に残存家屋が使用されるかどうかは別問題と思われることを付け加えておく。

本研究の一部は、林野庁から(独)森林総合研究所への委託事業「海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査」の予算を使用した。



写真4: 追跡調査で取り壊されていた家屋  
(窓(1F)破損)  
(2011.8.24撮影)

## 引用文献

- [1] 有馬勇人, 石野和男, 後藤浩, 竹澤三雄 (2012): 津波に対する海岸保安林の効果に関する考察, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会, II-24.
- [2] 独立行政法人森林総合研究所 (2011): 林野庁平成23年度震災復旧対策緊急調査「海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査」報告書, 58pp.
- [3] 原田賢治, 今村文彦 (2003): 防潮林による津波減衰効果の評価と減災のための利用の可能性, 海岸工学論文集, 50, PP.341-345.
- [4] Hayashida M., Sakamoto T., Okada M., Inoue S., Yanagihara A., Akojima I., Nakashima Y. (2008): Endurance of the Casuarina Coastal Forest in Southern Sri Lanka against the Indian Ocean Tsunami. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest* 7 (3): 1-5.
- [5] 石巻市: 石巻市ホームページ, <http://www.city.ishinomaki.lg.jp/>, 2012.1.25 閲覧
- [6] 気象庁 (2011): 「石巻市鮎川」の津波観測点の観測値について(続報), 報道発表資料 平成23年6月3日, 1pp.
- [7] 気象庁: 津波情報: 津波観測に関する情報ホームページ, [http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/observation\\_04\\_20110312193944.html](http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/observation_04_20110312193944.html), 2012.1.25 閲覧
- [8] 気象庁 (2011): 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震時に震度計で計測した各地の揺れの状況について, 報道発表資料 平成23年3月25日, 12pp.
- [9] 内閣府: 平成23年度東北地方太平洋沖地震に係る住家被害の調査方法 (PDF), <http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/h23jishin.pdf>, 2012.1.26 閲覧
- [10] 中島勇喜, 岡田穰編著 (2011): 海岸林との共生, 山形大学出版会, 218pp.
- [11] Okada M., Sakamoto T., Hayashida M., Inoue S., Yanagihara A., Akojima I., and Nakashima Y. (2008): The damage caused by the 2004 Indian Ocean tsunami and the mitigating effects of the mangrove forest against the tsunami -A case study of Medilla, southern Sri Lanka-. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest* 7 (3): 7-13.
- [12] 坂本知己 (2011): 平成23年東北地方太平洋沖地震津波による海岸林の被害(速報), 新砂防, 64 (2), PP.49-53.
- [13] Sakamoto T., Inoue S., Okada M., Yanagihara A., Harada K., Hayashida M., and Nakashima Y. (2007): The collision mitigation function of coconut palm trees against marine debris transported by tsunami -A case study of Tangalla on the southern Sri Lanka coast-. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest* 7 (2): 1-6.
- [14] 谷本勝利, 田中規夫, N.B.THUY, 飯村耕介, 原田賢治 (2009): 海岸樹林端部付近における津波の流れ—実験と数値計算—, 土木学会論文集 (B2-65), PP.361-365.
- [15] 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami Information, <http://www.coastal.jp/ttjt/index.php>, 2012.1.25 閲覧

[受付 平成24年8月27日, 受理 平成24年11月14日]